

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 156**

51 Int. Cl.:
F03B 11/02 (2006.01)
F03B 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10013516 .9**
- 96 Fecha de presentación: **30.11.2005**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2278155**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.01.2011**

54 Título: **Turbina pelton con un sistema de evacuación de agua**

30 Prioridad:
17.12.2004 DE 202004019537 U

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.06.2012

73 Titular/es:
**Erlach Consult JEC
Gustav-Werner-Strasse 7
88213 Ravensburg, DE**

72 Inventor/es:
Erlach, Josef

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 383 156 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Turbina Pelton con un sistema de evacuación de agua

5 La invención se refiere a una turbina Pelton con un sistema de evacuación de agua para potencias superiores a 100 kW, en la que en el interior de una carcasa hay un rodete que presenta cucharas dobles con una anchura de cuchara (b) y una longitud de cuchara "1", en las que inyectores que están dispuestos en un plano de simetría de las cucharas rotatorias, inyectan un chorro libre tangencialmente sobre un diámetro de chorro libre "D1", y en la que las salpicaduras de agua que salen de las cucharas caen encerradas por las paredes de la carcasa a un socaz.

10 En una turbina Pelton se convierte todo el salto útil del inyector en energía cinética. Las paletas de las cucharas dobles tienen una forma tal que el chorro libre se divide por una cresta central en partes iguales, y se cambia de sentido en la cuchara prácticamente en 180°. Debido al desvío se convierte casi toda la energía cinética del chorro de agua en una fuerza de impulsión en el perímetro del rodete. La energía residual que queda, de aproximadamente un 2 a un 4%, está todavía presente en forma de energía cinética para poder vaciar las cucharas bien y de forma rápida, y pasa en su mayor parte abierta en abanico en una dirección axial a ambos lados del rodete a la carcasa de la turbina o sobre la superficie libre del socaz.

15 La turbina Pelton de la clase indicada descrita en la publicación de patente US 1.448.893 presenta cucharas dobles, que en cuanto a técnica de fabricación ofrecen la ventaja de que por la falta de la pared lateral radial hacia el exterior se pueden fabricar de forma muy sencilla. Pero al mismo tiempo surge el inconveniente de que con la ausencia de esta pared lateral exterior en las cucharas en esta zona no se pueden ceder fuerzas al rodete por desvío del flujo. Por este motivo se coloca en la carcasa una pared de retención cilíndrica periférica parcial o total y contigua a las
20 cucharas, que retiene el agua que en caso contrario fluiría hacia el exterior y la obliga a descargarse por encima de las paredes laterales en dirección axial.

25 La publicación de patente US 4.950.130 muestra una turbina Pelton en la que las pérdidas de ventilación del rodete, es decir esencialmente las cucharas, se aprovechan para aspirar aire desde el exterior de la carcasa y transportarlo a un recinto situado encima de un sumidero cerrado. Debido a la mayor presión que reina encima del sumidero, el agua puede transportarse desde el sumidero a través de una tubería a unas piletas cuyo nivel de agua está situado geodésicamente más alto. Para conseguir este efecto, el recinto situado encima del sumidero está separado de una cámara de ventilación por una pared de limitación. La pared de limitación se encuentra, vista en dirección periférica, delante de la entrada de aire fresco, y allí se conduce lo más cerca posible al contorno de las cucharas y del rodete, para perder la menor cantidad posible de aire que vuelva desde el recinto a la cámara de ventilación.

30 En los Patent Abstracts of Japan Tomo 16, nº 480 (M-1321) y en el documento JP 04175468 A se muestran con relación a una turbina Pelton unas chapas deflectoras situadas delante de las cucharas exteriormente en dirección radial, así como un recubrimiento cilíndrico de volumen limitado sobre la periferia de las cucharas.

35 En los Patent Abstracts of Japan Tomo 1998, nº 11 y en el documento JP 10176648 A se prevé para reducir la propagación del sonido en el sumidero de una turbina Pelton formar una cortina de agua en la salida libre de agua del sumidero. Encima del sumidero se muestra un fondo de chapa perforada a modo de cubeta en el cual se recoge una parte de las salpicaduras de agua, para alimentar con ello la cortina de agua a la salida del sumidero.

40 La publicación de patente AT 366476 muestra que la carcasa de una turbina Pelton se puede realizar de una sola pieza si el rodete se baja a lo largo de su plano de simetría a través de un orificio de la tapa, y se fija sobre un árbol introducido para ello transversalmente a través de los cojinetes. La correspondiente tapa está realizada como caja que cubre las cucharas a lo largo de una parte del perímetro del rodete, con una chapa deflectora cilíndrica y con unas paredes laterales para evitar las salpicaduras de agua procedentes del restante recinto de la carcasa.

45 La publicación de patente CH 100772 muestra una disposición vertical de una turbina Pelton en la que unas chapas deflectoras superiores e inferiores, que comienzan a la altura de las raíces de las cucharas, desvían al interior del recinto las salpicaduras de agua que salen lateralmente de las cucharas dobles, que presentan un diámetro mayor en comparación con el diámetro del rodete. Para conducir mejor el caudal inferior de salpicaduras de agua se ha situado a una distancia mayor por debajo del rodete otra chapa deflectora en forma de un escudo periférico, que resulta útil para recoger el chorro inferior de salpicaduras de agua. Debido a las variaciones de las direcciones de salida de los chorros de salpicaduras de agua se forman reflejos diferentes en el espacio que se cruzan y que se pueden repartir por toda la carcasa, con lo cual se producen grandes pérdidas de arrastre en el rodete.

50 En las turbinas con eje de rodete vertical (1-6 inyectores) el agua que sale hacia la parte superior se desvía en el techo hacia la pared exterior de la carcasa y se evacua hacia arriba. El agua que sale de la mitad inferior de las cucharas suele incidir oblicuamente sobre la pared exterior o directamente sobre el nivel de agua libre. El agua que sale de las dos mitades de la cuchara con una velocidad todavía relativamente alta arrastra todavía mucho aire, entre un 30 y un 70% del caudal de agua, y crea una intensa turbulencia en la superficie del socaz. Para proteger el
55 rodete con seguridad de las repercusiones de la formación de espuma, su centro de rodete se encuentra a una altura "F" entre la turbina y el nivel inferior, es decir aproximadamente el doble del diámetro de chorro libre "D1", más alta que el nivel del canal del socaz, lo que supone una pérdida de salto útil o de energía (véase la Fig. 1, técnica anterior).

En las turbinas con eje de rodete horizontal (1-3 inyectores), el agua se inyecta lateralmente, en la dirección del eje, contra la carcasa y se evacua hacia abajo mediante unos desvíos adecuados. Debido a la mala evacuación fuera de la carcasa del agua de los inyectores situados en la parte superior, el número de inyectores está limitado a (1) a 2, o a un máximo de 3. La altura "F" está dimensionada de forma semejante a la de la turbina vertical. Cuando el número de inyectores es mayor el drenaje del agua causa problemas, y solamente se puede efectuar con pérdidas de rendimiento o potencia, principalmente en régimen de plena carga, ya que el agua de salida se desvía hacia arriba, sin que se retire del entorno del rodete (véase la Fig. 2, técnica anterior).

La intensa formación de espuma no sólo tiene como consecuencia que es preciso elegir una altura correspondientemente grande, sino también que esta espuma hay que irla degradando a lo largo de unos trayectos de estabilización largos, si se va a seguir utilizando el agua.

Esto último es lo que sucede en las turbinas Pelton de contrapresión cuando funcionan en régimen de stand by en "cortocircuito hidráulico" con una bomba en el mismo árbol, con el fin de poder entregar a un generador en caso de necesidad en poco segundos la carga demandada. Estos requisitos aparecen por ejemplo en instalaciones acumuladoras por bombeo con turbinas Pelton en régimen de contrapresión. Allí aparecen fuertes oscilaciones en la regulación de la carga con intensas oscilaciones de caudal de agua y de presión, que pueden perjudicar al rodete con la formación de espuma y olas de choque. Para que las turbinas Pelton de contrapresión puedan funcionar con seguridad cuando el nivel del socaz presenta fuertes oscilaciones es necesario que se soplen con aire comprimido despejándolas en una cota que permita un funcionamiento seguro sin espuma. En la cámara de la turbina actúa entonces una presión que equivale a la respectiva cota aguas abajo de la correspondiente pileta aguas abajo. El aire introducido por medio del rodete en las aguas abajo se distingue entre una parte disuelta, resultante de la distensión por la diferencia de presión antes y después del inyector y de una parte no disuelta que es arrastrada por las salpicaduras de agua. La longitud del tramo hasta terminar de burbujear en el socaz depende de la profundidad de introducción debajo del rodete así como de la uniformidad de distribución de flujo después del rodete. Para que no varíe el nivel en el socaz es necesario reponer por medio de compresores la parte de aire que falta.

Toda prolongación de un socaz, que casi siempre está situado en una caverna, encarece los costes de construcción, si sólo ha de servir para desgasificar aire. Otro punto es que el límite de garantía para los valores de potencia garantizados de acuerdo con las Directrices IEC 60041 termina en el fabricante de la turbina con la altura del centro del rodete, mientras que una determinada altura entre la turbina y el nivel inferior que esté definida fuera de este límite de garantía, se le especifica al usuario que por parte de la obra deberá procurar que funcione la evacuación de agua. Por este motivo se ha ido generalizando un patrón para la altura "F", que está en el doble del diámetro del chorro libre "D1", y que también se aprovecha plenamente durante el funcionamiento de la instalación debido a la formación de espuma.

Es objetivo de la invención mejorar el drenaje de la turbina, también con un escaso número de inyectores, en especial de dos hasta cuatro inyectores, de tal modo que se pueda reducir en una cantidad importante la altura, es decir que se gana altura de salto debido a estar instalado el punto central del rodete en una posición más baja.

De acuerdo con la invención esto se consigue esencialmente porque dentro de la carcasa por un lado está previsto junto a las cucharas sobre todo el perímetro y a ambos lados del rodete como elemento de guiado que conduce y desvía las salpicaduras de agua, un anillo de carcasa interior conducido hasta las raíces de las cucharas, y por otro lado como elemento de guiado, que conduce y desvía las salpicaduras de agua, un anillo de carcasa exterior provisto de un saliente sobresale hacia el interior en forma de tejado a dos vertientes, donde el vértice del saliente en forma de tejado a dos vertientes se encuentra en el plano de simetría, y los anillos de carcasa interior y exterior forman un espacio anular en forma de cono, para guiar a las salpicaduras de agua que salen de las cucharas, y porque el anillo de carcasa exterior presenta unos orificios de paso tangencialmente al diámetro de chorro libre, que cubren los chorros libres de los inyectores contra las salpicaduras de agua, donde el chorro libre está encerrado en el orificio de paso sin contacto con el orificio de paso.

La invención se basa en el conocimiento de que las "necesidades de aire" de la turbina dependen considerablemente de la longitud de recorrido y de las posibilidades de difusión de las partículas de salpicadura de agua hasta incidir sobre la superficie del socaz. Esto quiere decir, que en el caso de salpicaduras de agua conducidas en un haz estrecho o formando un haz cerrado, se reduce correspondientemente la superficie de ataque para el enriquecimiento de aire. Pero esto no debe llegar a dar lugar a que durante el régimen normal haya un remanso de salpicaduras de agua hacia el rodete.

La invención además está basada en el conocimiento de que para mantener reducidas las pérdidas de ventilación el rodete y la zona del rodete deberían estar lo más exentas posible de salpicaduras de agua vagabundas y de niebla de agua.

La invención tiene la ventaja de que la altura de instalación "F" para el rodete se puede establecer en menos de 1,5 veces el diámetro del chorro libre. Para una altura de salto original de 200 m y un rodete con diámetro de chorro libre de 1 m, esto equivale a una mejora de aproximadamente 0,5 m de la altura de salto, es decir un 0,25%. Por el hecho de que al salir de las cucharas tiene lugar una evacuación controlada de las salpicaduras de agua, que está apantallada de otras partículas de salpicaduras de agua vagabundas, estas últimas no pueden participar ni en un

incremento de la formación de espuma ni en un frenado en el rodete, reduciéndose de modo importante la formación de espuma también por las rejas de frenado dispuestas paralelas al rodete. Si se tiene en cuenta que los fabricantes de turbinas actualmente aceptan para una mejora del grado de rendimiento de un 0,1% un tiempo de desarrollo de un año, entonces las ventajas aquí mostradas resultan evidentes.

- 5 Gracias a la invención se tiene la posibilidad de realizar turbinas Pelton verticales y horizontales de hasta 6 inyectores con alta densidad de energía, de acuerdo con el número de inyectores, es decir con un rodete de igual tamaño sin pérdidas de potencia debidas a salpicaduras de agua.

10 La invención también mejora la buena evacuación de las salpicaduras de agua con menor consumo de aire y al mismo tiempo impide perturbaciones del aire de ventilación que circula, ya que no hay inyectores que penetren en él y que puedan repercutir negativamente.

Las reivindicaciones dependientes 2 a 8 representan perfeccionamientos ventajosos del objeto de la invención.

15 Un anillo de carcasa exterior previsto en el interior de la carcasa que está dispuesto respecto a las cucharas en el plano de simetría a una distancia "S1" del 5% al 20% de una longitud de cuchara "1", ya aporta ventajas considerables, puesto que protege las salpicaduras de agua que salen directamente de las cucharas contra las salpicaduras de agua reflejadas vagabundas. Otra ventaja está en que con una realización más gruesa de este anillo de carcasa exterior en la zona del plano de simetría, los chorros libres también están protegidos contra salpicaduras de agua vagabundas en unos orificios de paso conducidos tangencialmente al diámetro de chorro libre "D1". Si este regresamiento en el plano de simetría se realiza en forma de un saliente a modo de tejado a dos vertientes que sobresale hacia el rodete, se puede crear al mismo tiempo una limitación lateral para las salpicaduras de agua correspondiente a la dirección de salida. Mientras los inyectores sobresalgan hacia el interior por encima de este saliente en forma de tejado, no pueden participar ellas mismas con su cuerpo de inyector en la generación de salpicaduras de agua vagabundas, mientras que el anillo de carcasa exterior se ocupa de que las salpicaduras de agua que se desplazan por el exterior a lo largo de él no se pueden mezclar con las salpicaduras de agua de su cara interior. Cuanto menos difieran los orificios de paso en la carcasa exterior del diámetro de un chorro libre, tanto más pequeña es la superficie de ataque que difiera de la forma de tejado para la dispersión de las salpicaduras de agua. Si los cuerpos de inyector están completamente sellados respecto al anillo de carcasa exterior, no se puede aspirar aire, lo cual puede ser importante al funcionar con sobrepresión de aire en la carcasa. Esta clase de sistemas existen en las instalaciones antes citadas para absorber cargas punta en las cuales la turbina y la bomba trabajan en cortocircuito hidráulico. Allí la carcasa de la turbina y el socaz forman una atmósfera cerrada con sobrepresión en la que se insufla aire mediante los compresores para reponer la parte de aire arrastrada por las salpicaduras de agua. Si se reduce aquí la formación de espuma, es decir la aportación de aire, se puede dimensionar menor la potencia de los compresores.

35 Un anillo de carcasa interior periférico a ambos lados del rodete, que se acerca hasta las raíces de las cucharas, mejora adicionalmente la conducción de las salpicaduras de agua que salen de las cucharas. Se forma un canal de forma anular perpendicular al plano de simetría que se aleja abriéndose en cono, habiéndose elegido los dos ángulos de apertura α y β entre 55° y 80° para tener en cuenta la dirección de evacuación de las salpicaduras de agua fuera de las cucharas. Un valor óptimo para los ángulos α y β está entre 65° y 75°. Si las salpicaduras de agua están canalizadas en un recinto anular que las capta y las arrastra, éste se puede prolongar con una pieza de conexión cilíndrica y más adelante incluso se puede estrechar. Desde el punto de vista de la técnica de la construcción es razonable que la pieza de conexión cilíndrica se prolongue respecto al plano de simetría hasta una distancia de 1,4 a 2 veces la anchura de las cucharas "b".

40 En la misma pieza de conexión cilíndrica o a continuación de ésta puede estar prevista una reja de frenado que está dispuesta sobre una superficie de paso de un diámetro medio equivalente al diámetro del chorro libre "D1" y una anchura de anillo paralela al rodete correspondiente por lo menos a una longitud de cuchara "1", para frenar las salpicaduras de agua con la mínima producción de espuma posible.

45 Una reja por lo general da lugar a un efecto supresor de la espuma, y se puede colocar también en instalaciones ya existentes. Por ejemplo en el caso de un eje de rodete vertical puede estar dispuesta una reja debajo del rodete, en dirección transversal a través de la carcasa en la sección grande de ésta para reducir la formación de espuma.

50 La reja de frenado presenta por lo menos dos capas de barras dispuestas en un plano paralelo al plano de simetría y a una cierta distancia respecto al rodete, estando las barras dispuestas equidistantes entre sí en cada capa. En una capa, el diámetro de las barras supone del 60% al 70% de la separación media entre dos barras contiguas. La capa siguiente de barras de igual orientación puede estar desplazada media distancia entre centros respecto a la capa situada delante. Las barras propiamente dichas tienen sección redonda y están realizadas preferentemente como tubos. Éstos se pueden llenar por ejemplo con arena o gravilla para obtener un efecto de amortiguación, si es que debido al ataque intermitente de salpicaduras de agua llegaran a ser excitadas para entrar en vibración. Por ejemplo, para conseguir una buena estabilidad mecánica de una reja de frenado se pueden unir tres capas de tubos en construcción sándwich con unos distanciadores cortos, desplazados 80 a 90°.

Ha resultado ventajoso elegir una disposición en la que se reúnen sectores de rejas de tres capas en forma de

trozos de tarta formando un anillo circular. La posición de las barras o tubos es sensiblemente radial. La forma redonda de las barras presenta en primer lugar la ventaja de que su efecto depende poco de la dirección en la que inciden los chapoteos de salpicaduras de agua con gran velocidad. Otro efecto consiste en que estos chapoteos de salpicadura de agua se deforman en sí mismos cuando inciden sobre la superficie redonda. Al incidir de forma desplazada sobre la superficie curva se produce un alargamiento y un frenado de los chapoteos de salpicadura de agua que se prolonga en la capa siguiente.

Con el fin de reducir el efecto de los diferentes ángulos de salida del agua de las cucharas hacia las rejillas de frenado y asegurar un tiempo de permanencia reducido en el recinto anular hacia las rejillas de frenado, se ha visto en ensayos con modelos que las chapas deflectoras con un ángulo de incidencia ϕ de 25° a 35° y aproximadas a las cucharas a una distancia S_3 de 1/10 a 1/20 de la anchura de las cucharas b , , provocan otra mejora de la evacuación de agua debido a la rejilla de frenado. Con respecto al filo de la chapa deflector orientada hacia la cuchara, ésta debería estar desplazada en el recinto anular en un ángulo λ de 25 a 40° respecto a una dirección radial dispuesta perpendicularmente con relación al chorro libre, en el sentido periférico. Se obtienen diferentes ángulos de salida por ejemplo si varía notablemente la altura de salto. Dicho de otra manera, con esta clase de chapas deflectoras se puede conseguir con la misma disposición un efecto similarmente bueno al de las rejillas de frenado para diversas alturas de salto.

En un eje de rodete dispuesto horizontalmente se puede colocar a ambos lados del rodete una rejilla de frenado, que se continúa con una galería de caída hacia el socaz, lo que en combinación con un anillo de carcasa exterior resulta especialmente efectivo si las rejillas de frenado van a continuación del anillo. En el caso de un rodete apoyado en voladizo, el árbol puede estar rodeado en este pozo de caída por unas chapas de protección para no estar allí expuesto también a las salpicaduras de agua.

En el caso de un eje de rodete dispuesto horizontalmente, especialmente con vistas a una instalación con más de tres inyectores distribuidos uniformemente en el perímetro, se puede complementar un espacio anular dispuesto a ambos lados con un anillo de carcasa exterior e interior por medio de chapas deflectoras entre su anillo de carcasa interior y exterior, de tal modo que allí no se forme ninguna corriente rotativa en dirección periférica sino que las salpicaduras de agua se desvían de forma controlada a un canal colector. Por el hecho de que las chapas deflectoras perfiladas estén dispuestas en dirección periférica antes de la entrada del chorro de un inyector siguiente se evita que se cruce con salpicaduras de agua de la cámara siguiente. Con el fin de poder evacuar las salpicaduras de agua en el sentido de marcha hacia adelante y de marcha hacia atrás con independencia del estado de funcionamiento se han dispuesto por cada conjunto de inyector, dos a tres chapas deflectoras de diferente longitud dispuestas escalonadas una tras otra en dirección periférica, siendo la distancia "S2" de la primera chapa deflector a las cucharas entre el 10% al 30% de la anchura de las cucharas "b", y existiendo un ángulo de salida γ de 35° a 45° respecto a una dirección perpendicular al eje del rodete. Las chapas deflectoras terminan a ambos lados del rodete curvadas en la dirección periférica de las cucharas como guías de igual orientación en un canal colector periférico, de las cuales por lo menos el canal colector está realizado en forma de espiral por el lado del eje, para poder conducir en este lado todas las salpicaduras de agua gracias a su energía cinética residual por encima de un punto "P" situado a mayor altura del eje del rodete, ahorrando de este modo altura de salto, ya que después del punto "P" es suficiente con una ligera caída al socaz. Si ambos lados están dotados de un canal colector de esta clase entonces el rodete está situado en más de su mitad dentro de una artesa que por un punto más alto situado encima del nivel del agua está en comunicación con el socaz, y que al arrancar la instalación se vacía por ejemplo utilizando una bomba de chorro. En instalaciones que trabajen en régimen permanente que quizá tengan sólo unas pocas interrupciones al año, se trata de un régimen de funcionamiento razonable en el que predominan las ventajas de una disposición de más de tres inyectores para una disposición de eje horizontal.

En otra solución para turbinas Pelton de disposición vertical, las salpicaduras de agua que abandonan una mitad de cuchara hacia arriba se desvían por medio de chapas deflectoras y se evacúan cada una tangencialmente alejándolas a un canal colector superior. Las salpicaduras de agua procedentes de la mitad inferior de la cuchara, que sale hacia abajo, se transportan hacia arriba por medio de chapas deflectoras y alejándolas tangencialmente a un canal colector acodado hacia arriba. Los canales colectores superiores e inferiores desembocan a través de un rebosadero a una entrada en espiral para el socaz común, efectuándose la salida de las salpicaduras de agua superiores a una cota más alta. Por el hecho de que las salpicaduras de agua superiores tienen sólo un recorrido corto que esté afectado de rozamiento, se puede transportar a mayor altura. Las salpicaduras de agua inferiores también se transportan hacia arriba por el camino más corto posible.

La ganancia de altura de salto depende en este caso de la velocidad residual, y ésta a su vez de la altura de salto neta y de la carga de las cucharas. La energía restante a la salida de las cucharas es aproximadamente entre el 2 y el 4% de la energía total. Con un factor de aprovechamiento de 0,3 para esta energía residual, las salpicaduras de agua se pueden transportar en un 0,6 a 1,2% de la altura de salto hasta un punto "P" situado por encima del centro del rodete, y puede fluir con reducida pendiente al socaz. Dado que como ganancia de altura de salto hay que sumar también la altura entre la turbina y el nivel inferior, hay que contar para este ejemplo con una ganancia de energía total del 0,8 al 1,4%.

A continuación se describe la invención sirviéndose de ejemplos de realización. Las Fig. muestran

- Fig. 1 esquemáticamente una turbina Pelton con disposición horizontal del eje y con dos inyectores, según el estado de la técnica;
- Fig. 2 esquemáticamente una turbina Pelton con disposición horizontal del eje y tres inyectores, conforme al estado de la técnica;
- 5 Fig. 3 esquemáticamente una disposición conforme a la invención para una turbina Pelton con eje horizontal del eje y con tres inyectores en una vista lateral;
- Fig. 4 esquemáticamente la disposición de la Fig. 3 en una vista frontal;
- Fig. 5 esquemáticamente un detalle ampliado de la Fig. 3 con un sector de una reja de frenado;
- Fig. 6 esquemáticamente una vista del sector de la reja de frenado de la Fig. 5;
- 10 Fig. 7 esquemáticamente una sección ampliada a través de una reja de frenado según la Fig. 6, que se compone de tres capas de tubos en construcción sándwich;
- Fig. 8 esquemáticamente un detalle de una turbina Pelton con disposición horizontal del eje y con un espacio anular para salpicaduras de agua equipado con chapas deflectoras;
- Fig. 9 esquemáticamente un detalle de las chapas deflectoras de la Fig. 8 con su disposición respecto al rodete;
- 15 Fig. 10 esquemáticamente una sección de la Fig. 8, mirando sobre las chapas deflectoras;
- Fig. 11 esquemáticamente una sección vertical de una turbina Pelton en disposición vertical con cinco inyectores y con una altura F negativa;
- Fig. 12 esquemáticamente una sección horizontal a través de la turbina de la figura 11;
- Fig. 13 esquemáticamente un detalle ampliado de una curva de desvío con ranuras de la Fig.12;
- 20 Fig. 14 esquemáticamente una sección vertical, y
- Fig. 15 una sección horizontal de una turbina Pelton en disposición vertical con seis inyectores y una sola reja de frenado;
- Fig. 16 esquemáticamente una disposición según la Fig. 5 en la que está representada una chapa deflectora con un filo que transcurre en dirección radial, y
- 25 Fig. 17 esquemáticamente una vista lateral de la Fig. 16.

En los ejemplos siguientes las piezas funcionalmente iguales llevan las mismas referencias.

Ejemplos relativos al estado de la técnica

[0033] En la Fig. 1 hay una turbina Pelton que descansa horizontalmente con su eje de rodete (30) y sobre la que inciden un chorro libre (6) por medio de los inyectores (2) y (2a) sobre sus cucharas dobles (3) con una anchura de cuchara "b" en un diámetro de chorro libre "D1". El rodete (4) va encerrado en una carcasa (1) que está abierta por la parte inferior hacia un socaz (8). El punto central del rodete (9) se instala a una altura "F" de instalación sobre el nivel de agua (10) del socaz (8).

El chorro libre de un inyector incide sobre los filos de un plano de simetría (5) sobre los filos de las cucharas dobles (3) que van pasando a lo largo de él y se desvía en sentido contrario al de giro, incidiendo al abandonar las cucharas sobre la carcasa (1) y las chapas deflectoras (32) en forma de salpicaduras de agua (7) en abanico y de forma intermitente. Así las salpicaduras de agua (7) procedentes del inyector (2) se evacuan preferentemente al socaz (8). Las salpicaduras de agua del inyector (2a) inciden parcialmente desde una chapa deflectora (32), que está situada en forma de tejado sobre el inyector siguiente (2) en el sentido de giro, para proteger el chorro libre (6) de las partes de salpicaduras de agua vagabundas (7a). A este respecto hay que señalar que la dirección principal de las salpicaduras de agua (7) también se desplaza de acuerdo con la variación que sufre la altura de salto.

La energía residual de las salpicaduras de agua es en este caso todavía tan grande que se distribuye por el interior de toda la carcasa (1, 1a, 1b) formando espuma. De acuerdo con la experiencia, es preciso que la altura de instalación "F" corresponda al doble del diámetro de chorro libre "D1", para que el rodete (4) no se vea frenado por las salpicaduras de agua (7) de reflujo y por la espuma. Las dos acometidas (36) que proceden como ramificaciones de una tubería de presión común, se podrían complementar con otra acometida (36) llegando así a una disposición según la Fig. 2. Pero aquí ya se ve que las salpicaduras de agua debidas a un inyector adicional situado en sentido contrario al de giro de las cucharas recorre un camino considerablemente más largo con flujos de salpicaduras de agua que se cruzan y se reflejan, causando de este modo un mayor efecto de frenado en el rodete que los inyectores en una disposición de uno o dos inyectores. El grado de rendimiento total es por lo tanto ligeramente peor

que en la disposición según la Fig. 1, y empeoraría considerablemente si se dispusiera otro inyector en sentido contrario al de giro de las cucharas.

Ejemplos conformes a la invención

5 En las Fig. 3 y 4 está representado un ejemplo de realización de una turbina Pelton con tres de cinco posibles inyectores (2), y con un eje de rodete (30) dispuesto horizontalmente que descansa en cojinetes (38). En el interior de la carcasa (1) hay un anillo de carcasa exterior (11) que rodea totalmente el rodete (4). Un anillo de rodete interior (12) se inicia a ambos lados del rodete, respectivamente en la zona de las raíces (17) de las cucharas, y junto con el anillo de carcasa exterior (11) forma un espacio anular (16) que se abre radialmente en forma de cono. En el plano de simetría (5) del rodete, un chorro libre (6) que sale de los inyectores se divide en los filos de las cucharas dobles y después de su desvío y de ceder el impulso a las cucharas se descarga en un espacio anular (16), con diversos ángulos de salida. La disposición representada con tres inyectores (2) ofrece la ventaja de que los inyectores quedan accesibles desde el exterior.

10 El anillo de carcasa exterior (11) forma un saliente (13) que sobresale hacia el interior en forma de tejado, cuyo vértice (15) está situado en el plano de simetría (5) y a escasa distancia "S1" del 5 al 20% de una longitud de cuchara respecto a las cucharas (3), para descargar lo antes posible en el espacio anular (16) las salpicaduras de agua que giran con el rodete y son expulsadas por la fuerza centrífuga. En el plano de simetría (5) se encuentran respectivamente orificios de paso (14) para el chorro libre (6) en el anillo de carcasa exterior (11). Debido a la reducida distancia entre el vértice (15) y las cucharas (3), el chorro libre (6) no se ve molestado por salpicaduras de agua en su recorrido hacia las cucharas. Los inyectores (2) están sellados respecto al anillo de carcasa exterior (11) para que se aspire la menor cantidad posible de aire junto con el chorro libre. En el orificio de paso (14) el chorro libre está encerrado de modo relativamente estrecho pero sin contacto, para que en la forma de tejado que sobresale hacia el interior se formen a causa de la interrupción unas superficies de ataque lo más reducidas posible para las partículas de salpicaduras de agua circulantes.

15 La canalización de las salpicaduras de agua (7) que sale de las cucharas (3) impide al mismo tiempo que se mezclen salpicaduras de agua vagabundas en las proximidades del rodete. La forma de tejado del anillo de carcasa exterior (11) forma con el plano de simetría (5) un ángulo α de 75°. Del mismo modo, el anillo de carcasa interior (12) forma respectivamente con el plano de simetría (5) un ángulo β de 75°. El espacio anular (16) que se abre se prolonga mediante una pieza de conexión cilíndrica en el anillo de carcasa exterior (11) y por una carcasa cilíndrica para un cojinete (38). En esta parte cilíndrica del espacio anular (16) está instalada una reja de frenado (18) que a lo largo del perímetro está compuesta por varios segmentos. La parte de reja (18) de un segmento se compone de tres capas de tubos dispuestos de modo decalado unos tras otros.

20 Las salpicaduras de agua canalizadas en el espacio anular (16), que inciden de forma intermitente sobre la reja de frenado, tienen todavía una velocidad y una energía residual muy considerable, que se va reduciendo en la reja de frenado (18) por distorsión, deformación y por la interpenetración de los flujos de salpicadura de agua. Después de salir de la reja de frenado las salpicaduras de agua son captadas por la carcasa (1) y caen por gravedad a través de una chapa perforada (39) al socaz (8). Por lo tanto deja de haber chapoteos de salpicadura de agua que se disparan como proyectiles al socaz, y que arrastran aire para formar espuma. Esto permite situar el punto central del rodete (9) a una altura "F" sobre el nivel de agua (10) que ya sólo equivale al diámetro del chorro libre "D1".

25 La carcasa cilíndrica para el cojinete (38) se prolonga por el otro lado del rodete y tiene un orificio (40) para la ventilación. El cojinete (38) va sellado respecto al rodete contra salpicaduras de agua mediante una junta de laberinto sin contacto (37), en particular para la protección durante regímenes de funcionamiento no estacionarios. Los segmentos de la reja de frenado (18) forman un anillo circular con un área de paso (28), donde una primera capa de los tubos está situada en un plano (19) paralelo al plano de simetría (5) del rodete. El plano (19) está distanciado del plano de simetría en una cantidad algo superior a una anchura de cuchara "b".

30 En las Fig. 5, 6 y 7 se muestra con mayor detalle la acción de una reja de frenado. Las salpicaduras de agua (7) en el espacio anular (16) inciden sobre una primera capa (20) de tubos paralelos (23) con unos diámetros de tubo (24) y con una separación (26) que es menor que el mismo diámetro del tubo. La primera capa (20) y cada capa siguiente (21) están unidas entre sí formando una estructura sándwich por medio de unos tacos (41). Los tubos de una siguiente capa están por lo tanto desplazados respecto a los tubos de la capa anterior en la mitad de una distancia entre centros (25). Los tubos de un segmento (18) Fig. 6 están dispuestos de tal modo que los tubos centrales transcurren en dirección radial. Una disposición conforme a la Fig. 7 puede presentar por ejemplo las siguientes dimensiones:

- Tubos (23) con un diámetro (24) de 100 mm
- Una distancia entre centros (25) de 150 mm
- 35 - Una separación entre capas (20, 21) de 100 mm, y
- Una longitud de los tacos (41) de unos 25 mm.

En las Fig. 16 y 17 está representado un complemento a la Fig. 5, donde están dispuestos adicionalmente en el espacio anular 16 unas chapas deflectoras 33, de acuerdo con el número de chorros libres 6, para canalizar las salpicaduras de agua que salgan de las cucharas 3 en dirección periférica. De este modo se evita que las rejas de frenado 18 den lugar a una retención debido a un ángulo de ataque desfavorable. Las chapas deflectoras 33 tienen unas aristas de corte 34 que transcurren radialmente a una distancia S3 respecto a las cucharas, de una décima a una vigésima parte de la anchura de las cucharas b. Están situados formando un ángulo de ataque ϕ de 25 a 35° respecto a la dirección axial hacia las cucharas 3. Con relación a una dirección radial 31 dispuesta perpendicular al chorro libre 6, los filos de corte 343 están desplazados en la dirección periférica del rodete en un ángulo λ de 25-40°. Las chapas deflectoras llegan hasta cerca de las rejas de frenado y están acodadas, pasando a través de las rejas de frenado. Desde el punto de vista de diseño es una ventaja que ahorra costes situar las paredes de separación entre los distintos sectores de las rejas de frenado en la dirección periférica de tal modo que estén realizadas como prolongación acodada de las chapas deflectoras.

En las Fig. 8, 9 y 10 hay una turbina Pelton con disposición horizontal del eje, dotada de cinco inyectores (2) en su perímetro. Un espacio anular (16) que se abre en cono se prolonga con una pieza de conexión (16b) en el anillo de carcasa exterior (11) de forma cilíndrica y en el anillo de carcasa interior (12) con una curvatura respecto al anillo de carcasa exterior. En el canal que así se forma y que se va estrechando están dispuestas de modo sucesivo en dirección periférica unas chapas deflectoras (32) que están asignadas respectivamente a un inyector (2) en grupos de tres. Las chapas deflectoras están situadas para ello en dirección periférica respectivamente antes del punto de tangencia (29) del inyector correspondiente al diámetro de chorro libre "D1". El borde de entrada de la primera chapa deflectora (32), en dirección periférica, es la que presenta la distancia más corta "S2" respecto a las cucharas, mientras que las chapas deflectoras (32) sucesivas están desplazadas con sus bordes de entrada más hacia el exterior, y los bordes de salida desembocan a igual distancia con el rodete en un canal colector (35). El ángulo de salida y de las chapas deflectoras respecto a una perpendicular al eje del rodete es de 45°. La pared exterior del canal colector (35) va aumentando frontalmente en dirección periférica de las cucharas en forma de una hélice (42), que desemboca por un rebosadero en el socaz (8) por un punto de máxima altura "P" situado a mayor altura que el centro del rodete (9). Esta energía residual obtenida por el desvío conducido se necesita para superar el punto más alto "P". Las chapas deflectoras (32) presentan una ligera curvatura en sentido opuesto a la curvatura de las medias cucharas. La distancia "S2" del borde de entrada de la chapa deflectora anterior respecto a las cucharas corresponde al 20 a 30% de la anchura de las cucharas "b". Dado que la energía cinética de las salpicaduras de agua se aprovecha por medio de una conducción rigurosa del flujo, se obtiene una forma de construcción compacta en la que los inyectores quedan accesibles desde el exterior, y resulta una altura "F" que sólo supone una fracción del diámetro del chorro libre "D1".

En el ejemplo de las Fig. 11 y 12 con una disposición vertical de cinco inyectores de una turbina Pelton, el espacio anular (16) también se dota en una pieza de conexión (16) para cada inyector, con tres chapas deflectoras (32) que igual que en la Fig. 9 están dispuestas escalonadas respecto a las cucharas, en lo referente a sus bordes de entrada. En cambio la dirección de salida presenta un componente radial adicional hacia el exterior. El flujo que sale de las tres chapas deflectoras se conduce respectivamente a un canal colector independiente (35a, 35b) que sale tangencialmente, presentando el canal colector inferior una curva de desvío adicional (43). El canal colector superior y el inferior (35a, 35b) están dispuestos uno sobre el otro y conducen de forma inclinada tangencialmente hacia arriba, y por encima de un rebosadero con un punto de máxima altura P1, P2 a una entrada (44) del socaz 8 que se ensancha en espiral. Si esta entrada en forma de espiral (44) está realizada con suficiente anchura y profundidad, entonces las tuberías de distribución 36 que van a los inyectores (2) pueden cruzar la espiral sin obstaculizar la descarga del agua.

En la Fig. 11 está indicada con línea de trazos y en la transición de la espiral al socaz (8), por encima del nivel de agua (10), una reja de frenado (18) que está destinada a romper el flujo a la salida de los canales colectores anteriores (35a, 35b). La altura entre la turbina y el nivel inferior "F" es negativa ya que el punto central del rodete (9) se encuentra por debajo del nivel de agua (10) del socaz (8). En consecuencia tiene esta misma magnitud el incremento de altura de salto que equivale a la suma de la distancia "-F" negativa y la altura entre turbina de nivel inferior convencional, del doble del diámetro del chorro libre "D1".

Después de una parada, el rodete (4) se encuentra en una artesa llena de agua, que para el siguiente arranque se ha de vaciar bombeando por ejemplo con una bomba de chorro. Puede ser conveniente que la bomba siga trabajando durante todo el proceso de arranque, y prever para ello unas tuberías de drenaje especiales, que recojan las partes de flujo remansadas en la zona de aspiración de la bomba. Esto quiere decir, que debajo de la turbina Pelton tiene que haber un depósito colector vacío (48) al cual pueda descargarse el agua, pudiendo ser este depósito también el sumidero general de la central. En la Fig. 13 se muestra un detalle de la curva de desvío que está interrumpida por las ranuras (50) que desembocan oblicuamente, conduciendo estas ranuras el agua de retorno al depósito colector a través de las conducciones de descarga (49). Al mismo tiempo las ranuras tienen la ventaja de que durante el funcionamiento normal se aspira aire a través de ellas durante el desvío, que reduce el rozamiento en el recorrido más largo del agua por la cara inferior del rodete.

En el ejemplo de las Fig. 14 y 15 se muestra una instalación de seis inyectores con eje vertical del rodete (30), en sección vertical y en sección horizontal, estando indicado en el lado izquierdo de la sección vertical el recorrido de las salpicaduras de agua (7). Una carcasa (1) de forma anular o poligonal de acuerdo con el número de inyectores

- “n” se apoya sobre una base de hormigón del socaz (8). Los inyectores (2) penetran de forma convencional a bastante distancia en el interior de la carcasa. En la parte superior, un anillo de carcasa interior (12) se aproxima a las patas de las cucharas, y después de una primera flexión de 45° se continúa en una parte anular cónica, que pasa a una parte anular horizontal en la que con otro acodamiento de 20° hacia abajo sigue una parte anular cónica hasta la pared exterior de la carcasa (1). Con esta disposición también se desvía hacia abajo la parte de salpicaduras de agua que sale hacia arriba. Concéntricamente con el eje del rodete (30) se levanta desde el socaz (8) una columna (45) que llega a penetrar en la carcasa y que soporta un tubo protector (46) dividido longitudinalmente que llega hasta inmediatamente junto al buje del rodete y forma una conducción para las salpicaduras de agua. Éste puede servir también como tubo de aireación.
- 5
- 10 Por debajo del rodete (4) y a una distancia de aproximadamente dos tercios del diámetro del chorro libre “D1” hacia el punto central del rodete está situada una reja de frenado (18) de tres capas, y debajo una chapa perforada (39), que se extienden en toda la sección de la carcasa. El conjunto de reja de frenado (18) y chapa perforada (39) está soportada en el centro por la columna (45) y por el exterior, igual que la carcasa, por el cerco de hormigón del socaz.
- 15 La reja de frenado frena las salpicaduras de agua y absorbe su energía cinética, que en caso contrario da lugar a la aportación de aire en las aguas abajo. Con la ralentización del flujo y debido al remanso sobre la chapa perforada que se encuentra algo más lejos, también se separa aire de las salpicaduras de agua. Una parte de este aire penetra lateralmente en unas tuberías de compensación (47) que comunican el espacio más alto de la carcasa respecto al eje, con el socaz. La altura entre la turbina y el nivel inferior “F” es de aproximadamente 1,2 veces el diámetro del chorro libre “D1”.
- 20 Con una estructura de reja de esta clase que puede consistir como en la Fig. 6 en un anillo circular con segmentos de reja, se crea al mismo tiempo una plataforma de trabajo que asegura pleno acceso al rodete (4) cuando se retira el tubo de protección (46) dividido longitudinalmente. El rodete (4) se puede soltar del eje, soportar sobre la columna (45) y sacar lateralmente a través de un hueco de la carcasa, y se puede montar siguiendo el orden inverso. Por medio de esta plataforma quedan igualmente accesibles los inyectores (2) para fines de mantenimiento.
- 25 Las barras o tubos de la reja de frenado (18) también pueden transcurrir en una dirección distinta a la radial respecto al eje del rodete (30). En la Fig. 14, los tubos (25) transcurren tangencialmente por segmentos. La posición relativa de los tubos entre sí equivale a la de la Fig. 7.

Lista de referencias

- | | | |
|----|----|-------------------------------|
| | 1 | Carcasa |
| 30 | 1a | Pared de la carcasa |
| | 1b | Pared de la carcasa |
| | 2 | Inyector |
| | 2a | Otro(s) inyector(es) |
| | 3 | Cuchara doble |
| 35 | 4 | Rodete |
| | 5 | Plano de simetría |
| | 6 | Chorro libre |
| | 7a | Salpicaduras de agua |
| | 7b | Salpicaduras de agua |
| 40 | 7c | Salpicaduras de agua |
| | 8 | Socaz |
| | 9 | Punto central del rodete |
| | 10 | Nivel del agua |
| | 11 | Anillo exterior de la carcasa |
| 45 | 12 | Anillo interior de la carcasa |
| | 13 | Saliente en forma de tejado |

	14	Orificio de paso
	15	Vértice
	16	Espacio anular
	16b	Pieza de conexión
5	17	Raíz
	18	Reja de frenado
	19	Plano
	20	Primera capa
	21	Otra capa
10	22	Barra
	23	Tubo
	24	Diámetro del tubo
	25	Distancia entre centros
	26	Espacio intermedio
15	27	Distancia entre capas
	28	Área de paso
	29	Punto de tangencia
	30	Eje del rodete
	31	Dirección radial
20	32	Chapa deflectora
	33	Chapa deflectora
	34	Arista de corte
	35	Canal colector
	35a	Canal colector superior
25	35b	Canal colector inferior
	36	Tubería de distribución
	37	Junta de laberinto (sin contacto)
	38	Cojinete de la turbina
	39	Chapa perforada
30	40	Orificio
	41	Taco
	42	Espiral
	43	Curva de desvío
	44	Entrada
35	45	Columna
	46	Tubo de ventilación
	47	Tubería de compensación

	48	Depósito colector
	49	Tubería de drenaje
	50	Ranura transversal
	b	Anchura de la cuchara
5	1	Longitud de la cuchara
	D1	Diámetro del chorro libre
	F	Altura de instalación (altura)
	P, P1, P2	Punto
	S1	Separación
10	S2	Separación
	S3	Separación
	$\alpha, \beta,$	γ Ángulos
	λ, φ	Ángulos

REIVINDICACIONES

- 5 1. Turbina Pelton con un sistema de evacuación del agua para potencias superiores a 100 kW, en la que en el interior de una carcasa (1) hay un rodete (4) que presenta cucharas dobles (3) con una anchura de cuchara "b" y una longitud de cuchara "1", en las que inyectores (2) que están dispuestos en un plano de simetría (5) de las cucharas rotatorias, inyectan un chorro libre (6) tangencialmente sobre un diámetro de chorro libre "D1", y en las que las salpicaduras de agua (7) que salen de las cucharas caen encerradas por las paredes de la carcasa (1a, 1b) a un socaz (8) **caracterizada porque** dentro de la carcasa (1) por un lado está previsto junto a las cucharas (3) sobre todo el perímetro y a ambos lados del rodete (4) como elemento de guiado que conduce y desvía las salpicaduras de agua, un anillo de carcasa interior (12) conducido hasta las raíces (17) de las cucharas (3), y por otro lado como otro elemento de guiado que conduce y desvía las salpicaduras de agua, un anillo de carcasa exterior (11) provisto de un saliente (13) sobresale hacia el interior en forma de tejado a dos vertientes, donde el vértice del saliente (13) en forma de tejado a dos vertientes se encuentra en el plano de simetría (5), y los anillos de carcasa interior y exterior (11, 12) forman un espacio anular (16) en forma de cono, para guiar a las salpicaduras de agua que salen de las cucharas, y **porque** el anillo de carcasa exterior (11) presenta unos orificios de paso(14) tangencialmente al diámetro de chorro libre (D1), que cubren los chorros libres (6) de los inyectores contra las salpicaduras de agua, donde el chorro libre (6) está encerrado en el orificio de paso (14) sin contacto con el orificio de paso (14).
- 10 2. Turbina Pelton según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el anillo de carcasa interior (12) en las raíces (17) de las cucharas forma con el plano de simetría un ángulo (β) entre 55 y 80°, y las superficies de tejado a dos vertientes del anillo de carcasa exterior (13) forman con el plano de simetría un ángulo (α) entre 55 y 80°.
- 15 3. Turbina Pelton según la reivindicación 2 **caracterizada porque** a los espacios anulares (16) que se ensanchan les sigue una pieza de conexión cilíndrica (16b).
- 20 4. Turbina Pelton según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizada porque** un canal que se estrecha al espacio anular (16) a prolongar.
- 25 5. Turbina Pelton según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el eje del rodete (30) está dispuesto en dirección vertical, y porque en un recinto situado debajo del plano de simetría (5) está colocada una reja de frenado (18).
- 30 6. Turbina Pelton según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el vértice (15) del anillo de carcasa exterior (13) en forma de tejado a dos vertientes está situado en el plano de simetría (5) y a una distancia del 5 al 20% de una longitud de cuchara respecto a las cucharas (3).
- 35 7. Turbina Pelton según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** los orificios de paso (14) en el anillo de carcasa exterior (13) presentan un diámetro sólo ligeramente mayor que el chorro libre (6).
8. Turbina Pelton según una o varias de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** a los espacios anulares (16) o a sus piezas de conexión cilíndricas (16b) les siguen canales conectores que conducen al socaz (8).

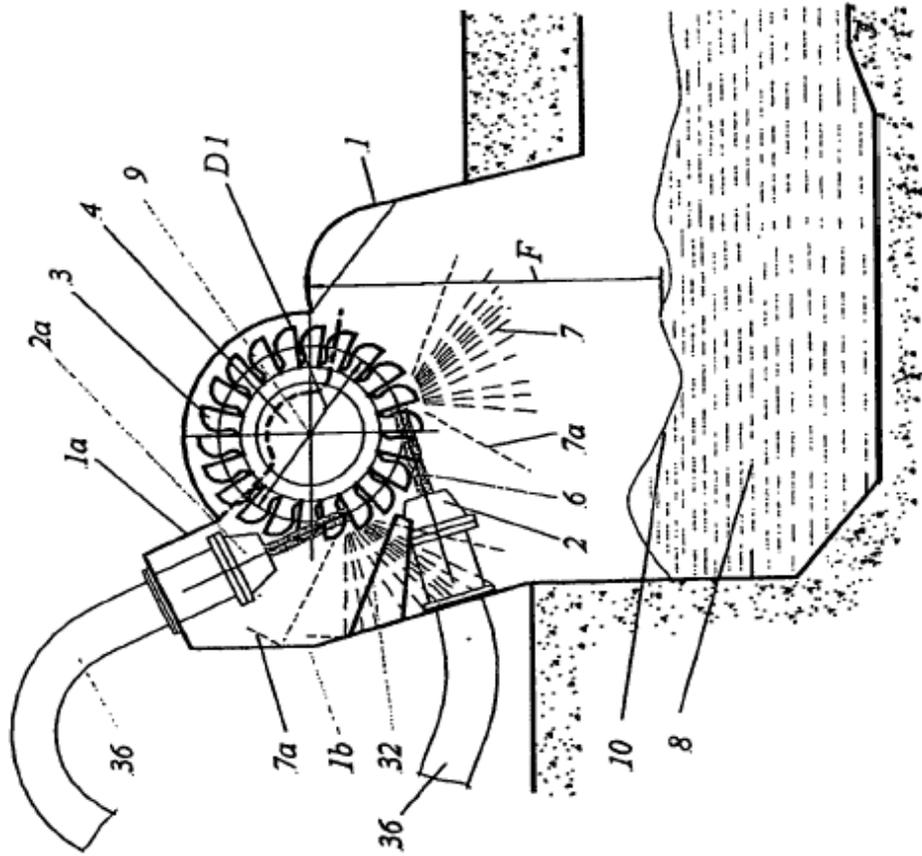
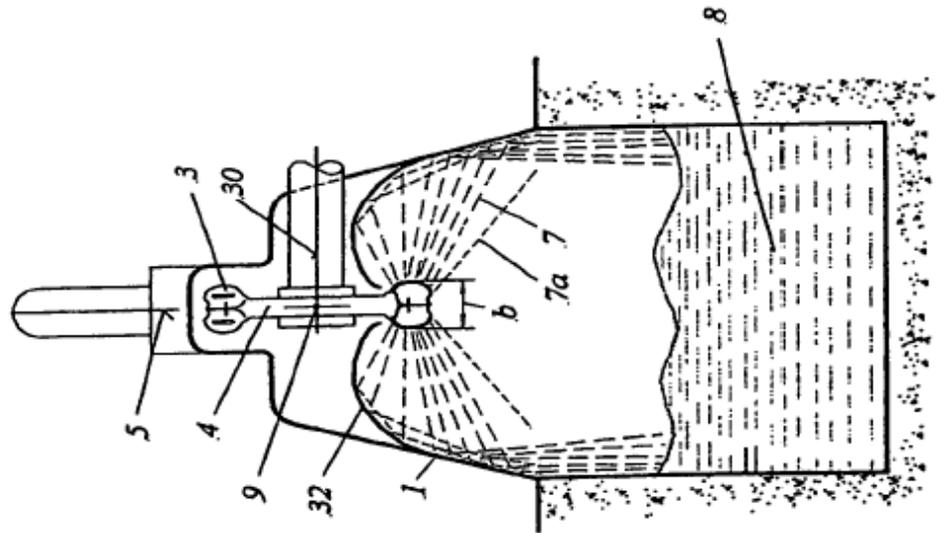


Fig. 1



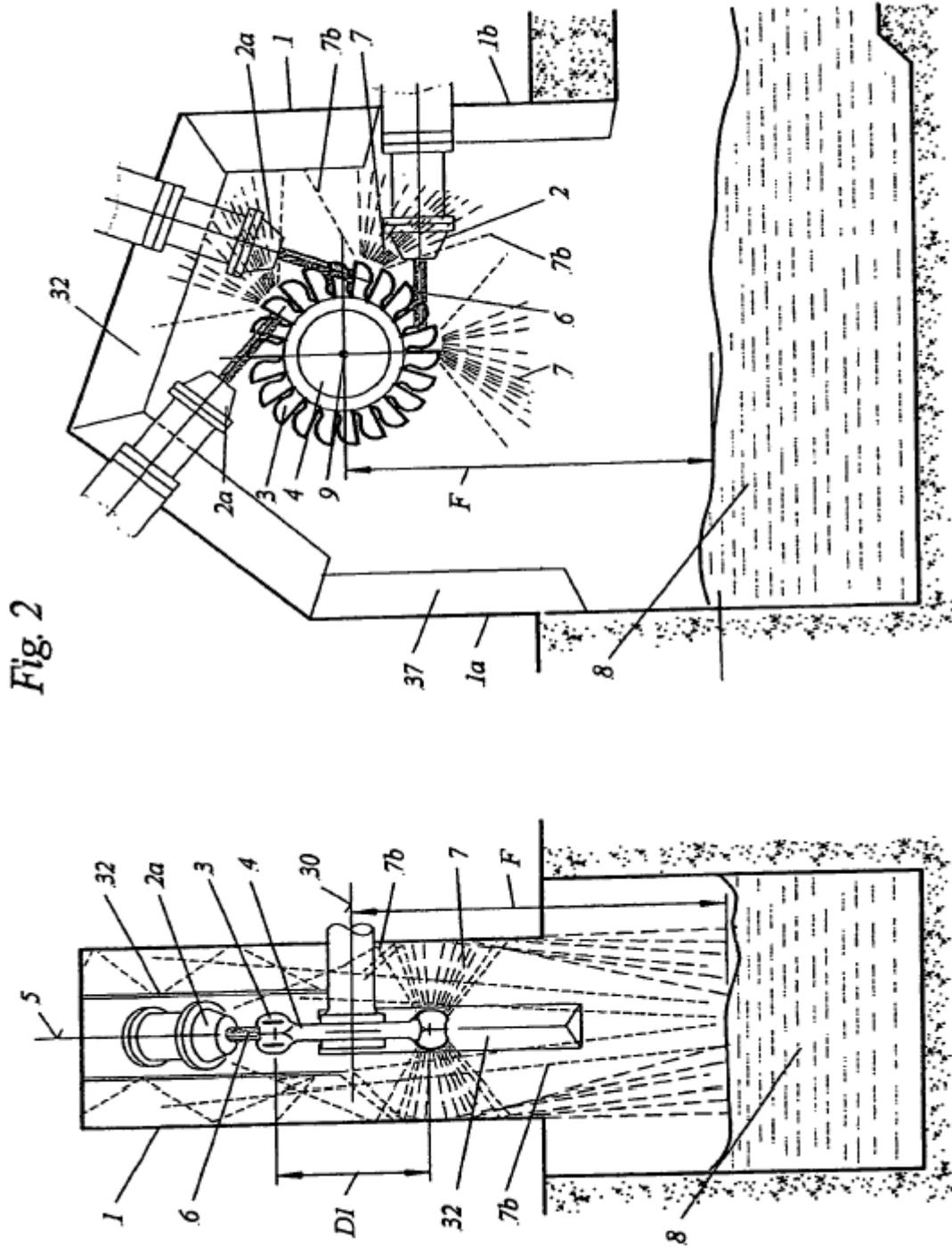


Fig. 2

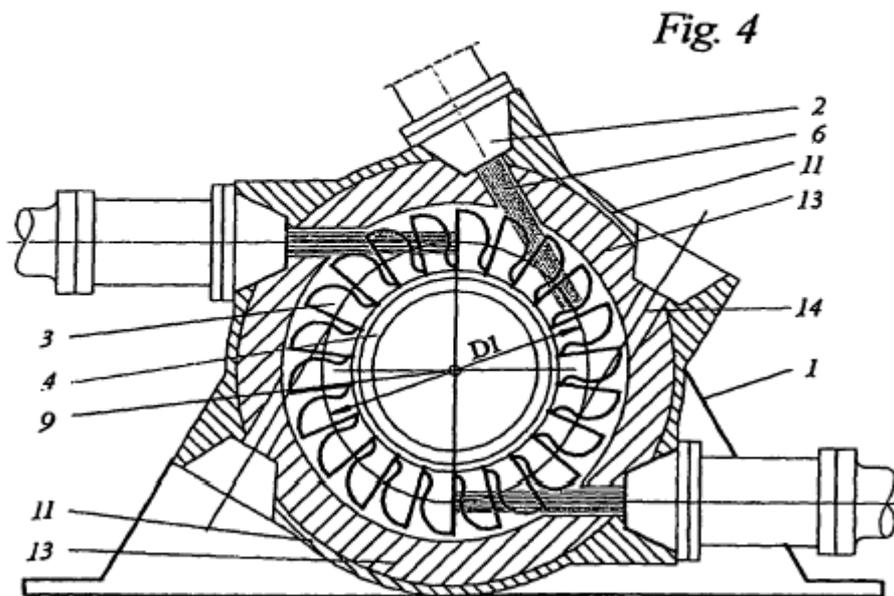
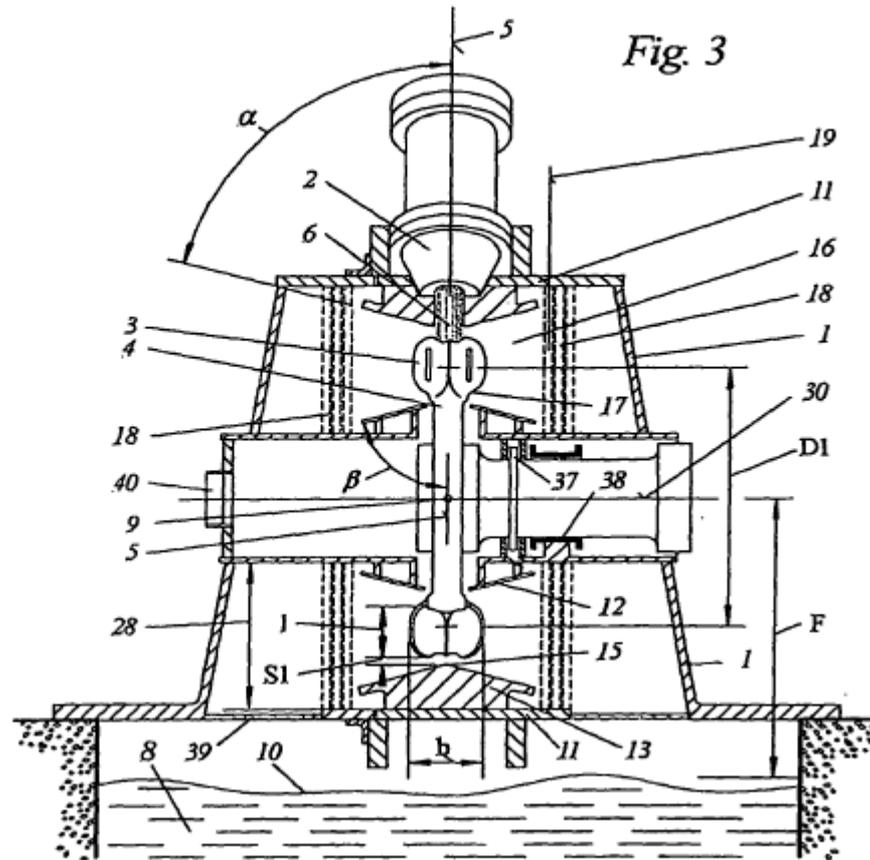


Fig. 6

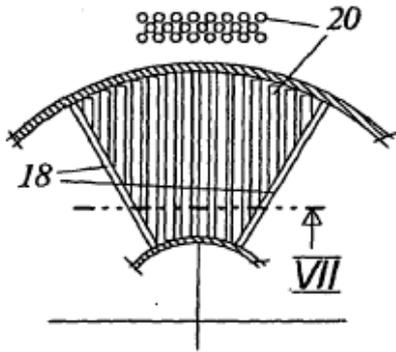


Fig. 5

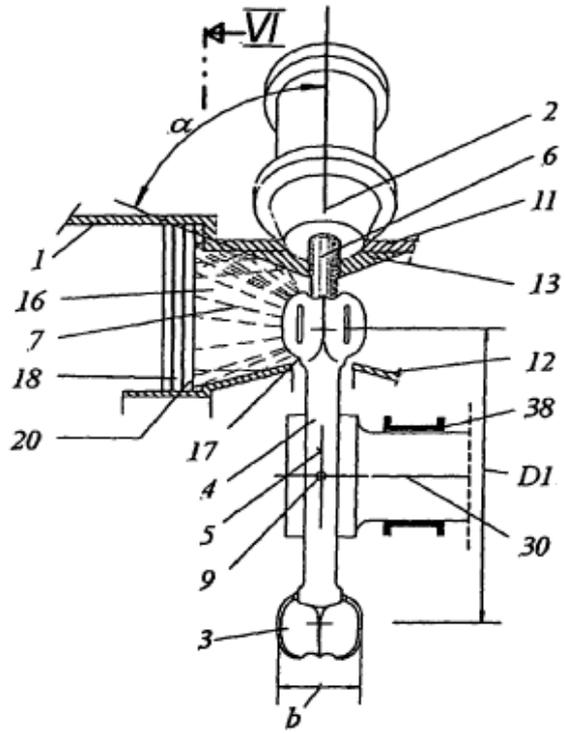
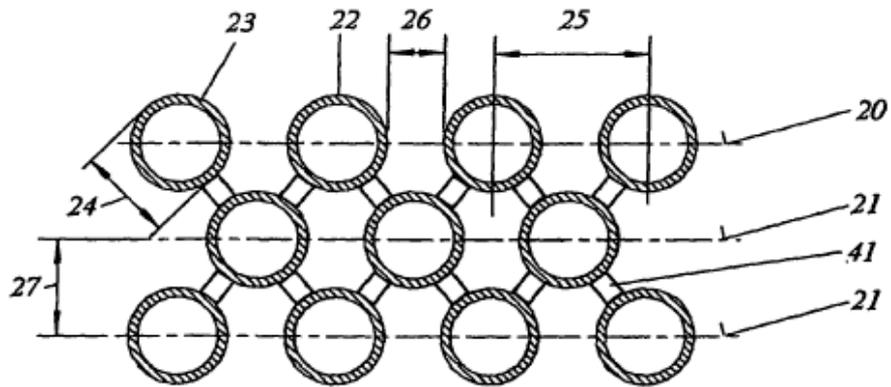


Fig. 7



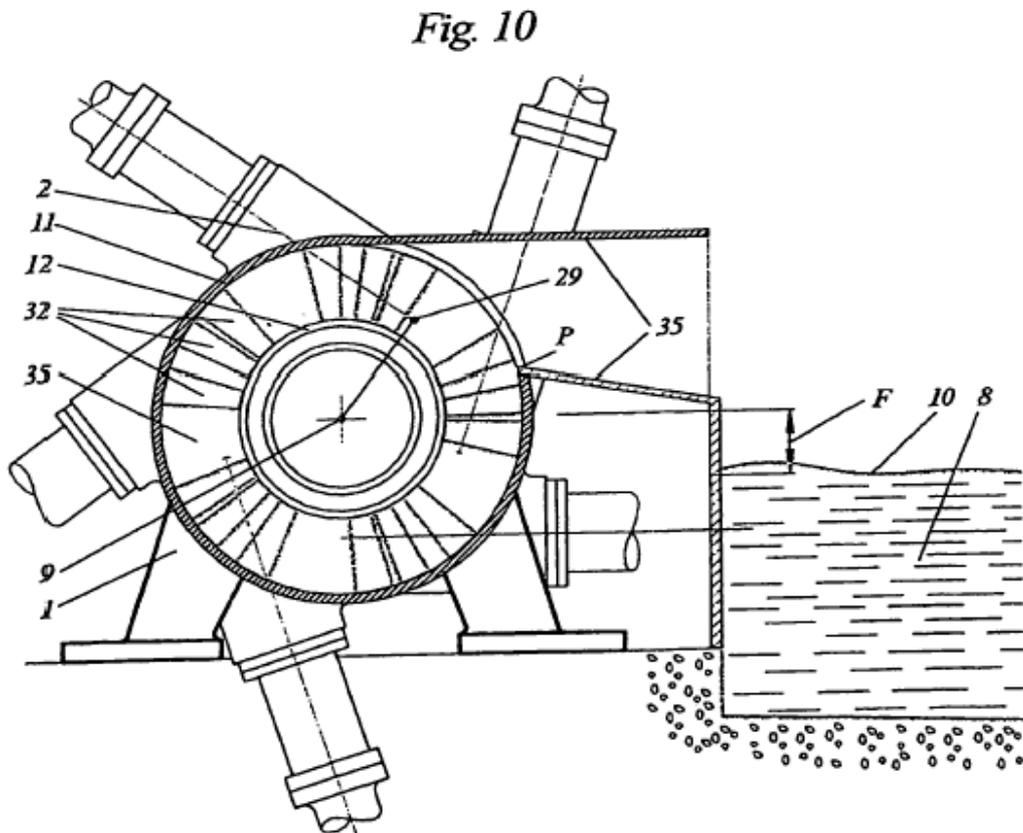
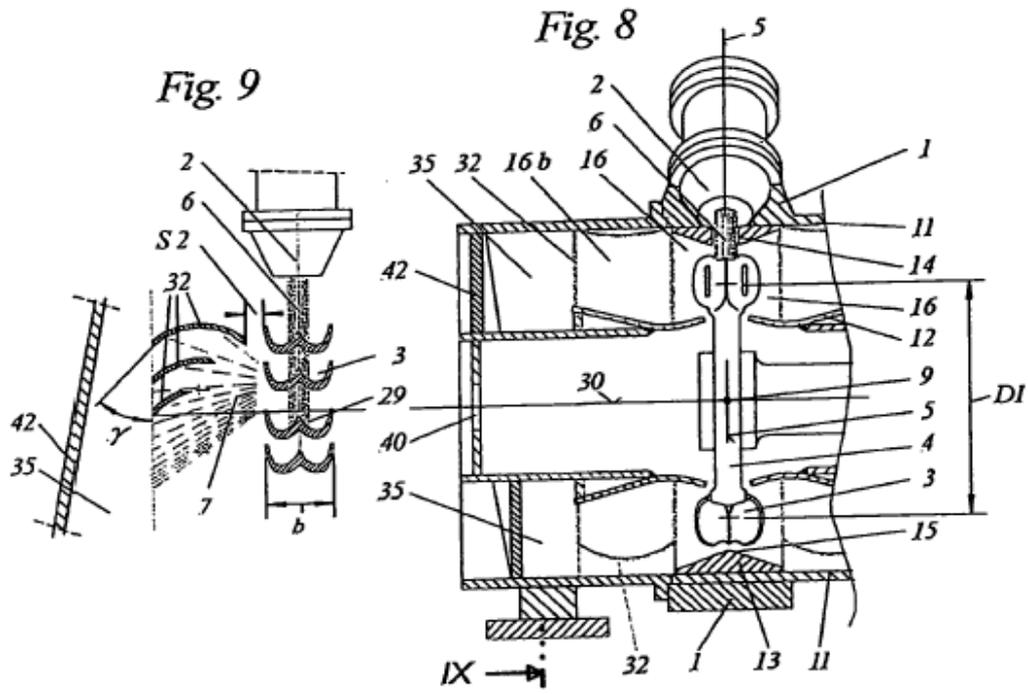


Fig. 11

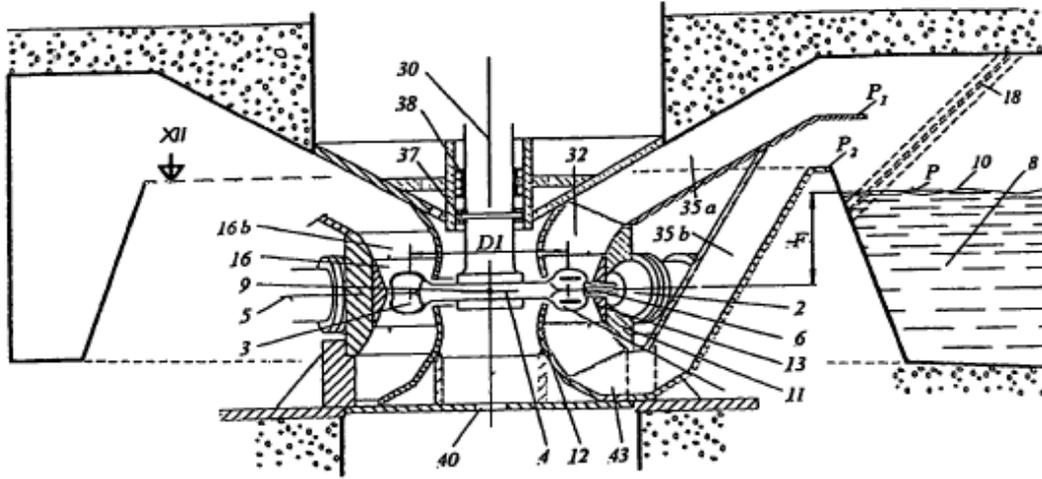


Fig. 12

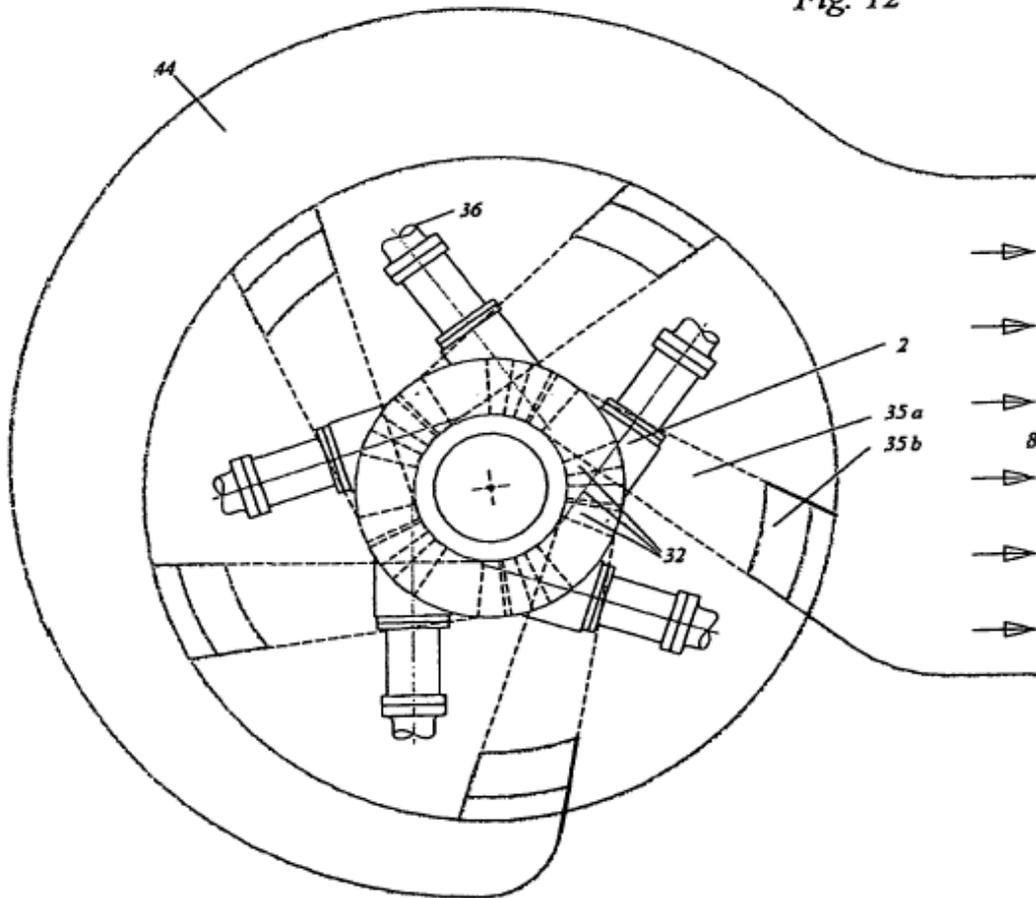


Fig. 13

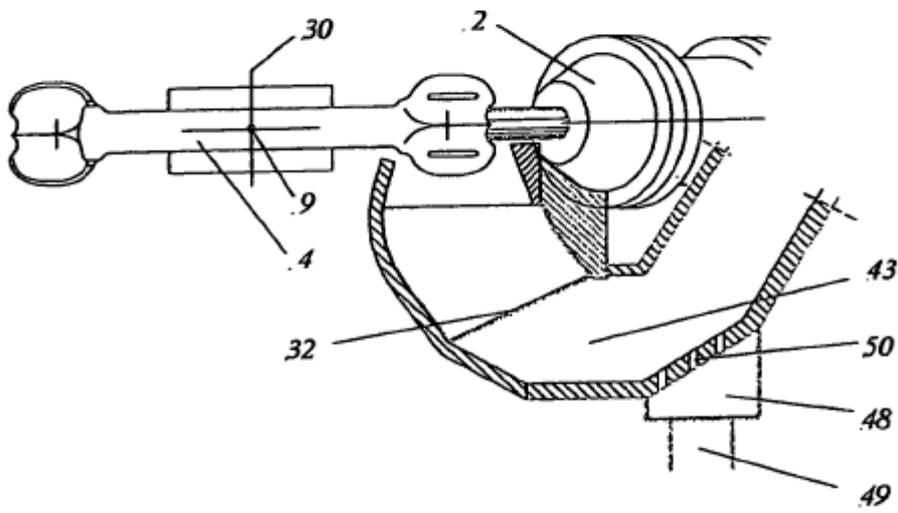


Fig. 14

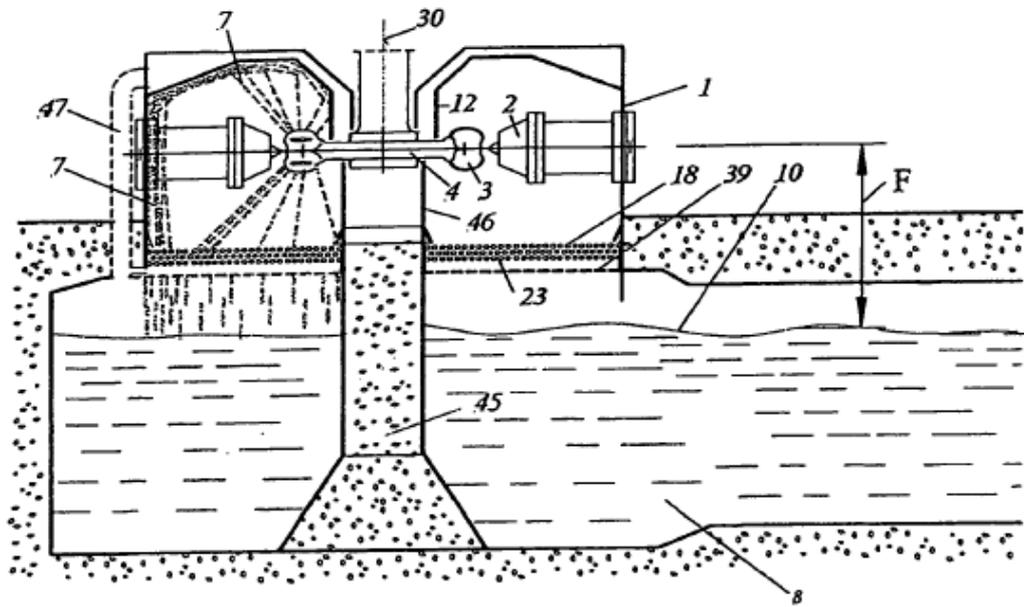


Fig. 15

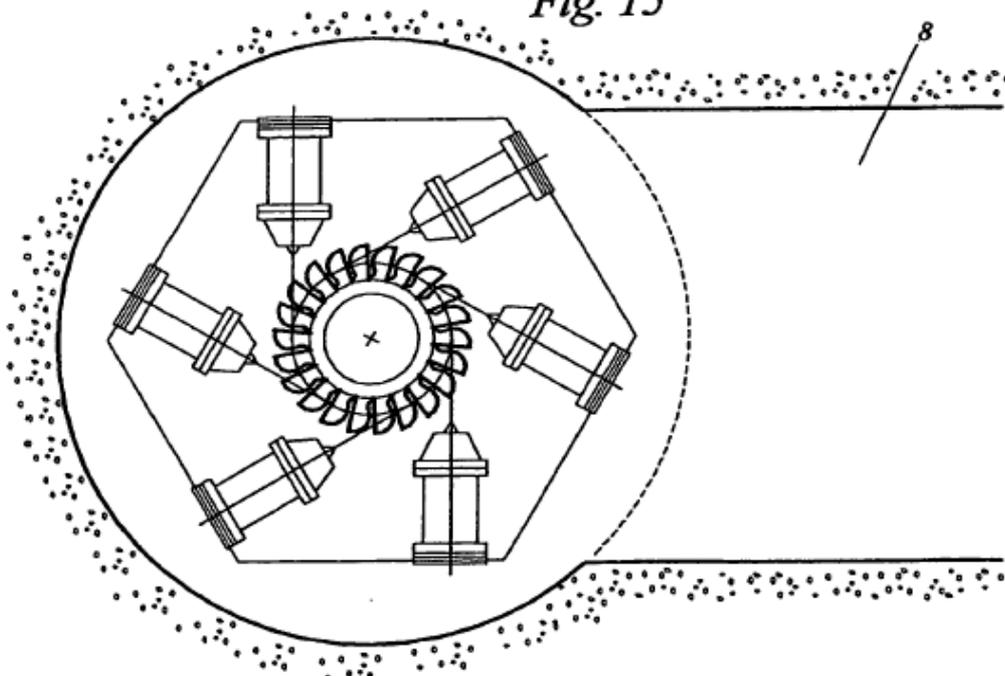


Fig. 16

Fig. 17

